



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 100 26 332 A 1

51 Int. Cl.7:  
B 60 K 41/02  
B 60 K 41/28

21 Aktenzeichen: 100 26 332.1  
22 Anmeldetag: 26. 5. 2000  
43 Offenlegungstag: 12. 7. 2001

DE 100 26 332 A 1

66 Innere Priorität:  
199 63 392. 4 28. 12. 1999  
71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

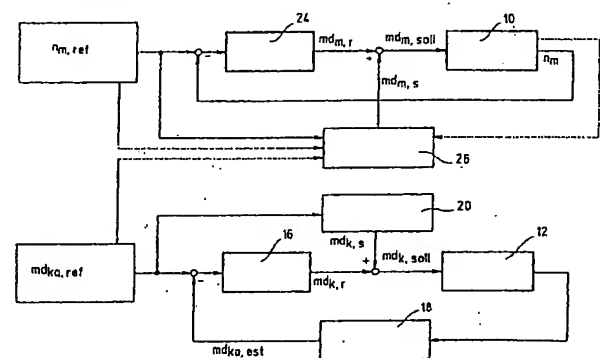
72 Erfinder:  
Loeffler, Juergen, 71638 Ludwigsburg, DE; Bolz,  
Martin-Peter, 77815 Bühl, DE; Huelser, Holger, Dr.,  
70329 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur koordinierten Steuerung eines Fahrzeugmotors und einer Kupplung mittels einer Antriebsstrangsteuerung während eines Wechsels einer Getriebeübersetzung

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur koordinierten Steuerung eines Fahrzeugmotors und einer Kupplung mittels einer Antriebsstrangsteuerung während eines Wechsels einer Getriebeübersetzung, wobei dem Fahrzeugmotor und der Kupplung jeweils zumindest ein Stellmittel zugeordnet ist, mit dem über die Antriebsstrangsteuerung eine Einstellung eines Sollwertes für ein Motormoment beziehungsweise ein Kupplungsmoment erfolgt (Momentenaufbau).

Es ist vorgesehen, daß der Sollwert für das Kupplungsmoment ( $md_{k, \text{soll}}$ ) zu einem Zeitpunkt (t) in Abhängigkeit von einem Referenzkupplungsausgangsmoment ( $md_{ka, \text{ref}}$ ) (Momentenrajektorie) festgelegt wird und der Sollwert für das Motormoment ( $md_{m, \text{soll}}$ ) zum Zeitpunkt (t) aus einem Regelungsanteil ( $md_{m, r}$ ) und einem Steuerungsanteil ( $md_{m, s}$ ) besteht, wobei sich der Regelungsanteil ( $md_{m, r}$ ) aus einer Abweichung einer Motordrehzahl ( $n_m$ ) von einer Referenzmotordrehzahl ( $n_{m, \text{ref}}$ ) (Drehzahltrajektorie) im Zeitpunkt (t) ergibt und der Steuerungsanteil ( $md_{m, s}$ ) in Abhängigkeit von der Drehzahltrajektorie ( $n_{m, \text{ref}}$ ) im Zeitpunkt (t), einem zukünftigen Verlauf der Drehzahltrajektorie ( $n_{m, \text{ref}}$ ) und der Momentenrajektorie ( $md_{ka, \text{ref}}$ ) sowie einem vorhergehenden Verlauf der Stellgrößen des Fahrzeugmotors festgelegt wird (prädiktive Motorsteuerung).



DE 100 26 332 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur koordinierten Steuerung eines Fahrzeugmotors und einer Kupplung mittels einer Antriebsstrangsteuerung während eines Wechsels einer Getriebeübersetzung mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen.

## Stand der Technik

Moderne Kraftfahrzeuge weisen Antriebsaggregate auf, bei denen eine zunehmende Anzahl von Aggregaten automatisierbar sind. Eine Leistungsanforderung durch einen Fahrzeugführer erfordert daher eine koordinierte Ansteuerung der einzelnen Aggregate, insbesondere um ein komfortables Anfahren und schnelle sowie komfortable Schaltvorgänge zu realisieren. Als automatisierte Aggregate kommen in Frage ein Getriebe, eine Kupplung und ein Fahrzeugmotor. Besonders eine koordinierte Ansteuerung der letzten beiden Komponenten bereitet in der Praxis jedoch noch erhebliche Schwierigkeiten. So müssen einerseits dem Fahrzeugmotor mittels einer Motorleistungssteuerung ein Sollwert für ein Motormoment und andererseits der automatisierten Kupplung ein Sollwert für ein Kupplungsmoment vorgegeben werden. Insgesamt ist eine exakte Steuerung einer Motordrehzahl erforderlich, damit mit einem Schließen der Kupplung eine Fahrzeugbeschleunigung glatt verläuft und eine Anregung von Triebstrangschwingungen verhindert wird. Eine solche exakte Steuerung ist durch die Verfahren des Standes der Technik bisher nicht möglich.

20

## Vorteile der Erfindung

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur koordinierten Steuerung des Fahrzeugmotors und der Kupplung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 lassen sich die beiden Aggregate in besonders sicherer und exakter Weise koordiniert steuern. Indem

25

- (a) der Sollwert für das Kupplungsmoment zu einem Zeitpunkt  $t$  in Abhängigkeit von einem Referenzkupplungsausgangsmoment (Momenttrajektorie) festgelegt wird und
- (b) der Sollwert für das Motormoment zum Zeitpunkt  $t$  aus einem Regelungsanteil und einem Steuerungsanteil besteht, wobei sich der Regelungsanteil aus einer Abweichung einer Motordrehzahl von einer Referenzmotordrehzahl (Drehzahltrajektorie) im Zeitpunkt  $t$  ergibt und der Steuerungsanteil in Abhängigkeit von der Drehzahltrajektorie im Zeitpunkt  $t$ , einem zukünftigen Verlauf der Drehzahltrajektorie und der Momenttrajektorie sowie einem vorhergehenden Verlauf der Stellgrößen des Fahrzeugmotors festgelegt wird (prädiktive Motorsteuerung),

kann auf die Vorgabe von Normbedingungen für einen optimalen Einkuppelvorgang verzichtet werden und stattdessen eine Anpassung der Sollwerte unmittelbar unter Bezug der erfaßten Betriebsparameter beziehungsweise Betriebszustände erfolgen.

Die Drehzahltrajektorie kann vorzugsweise über ein Kennfeld in Abhängigkeit von einem Fahrerwunsch, einem Fahrertyp, einer Differenz der Übersetzung vor und nach dem Wechsel, einer Fahrsituation, einer Sollarbeitsleistung nach Ende des Wechsels und einer Differenz einer Motordrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl zu Beginn des Wechsels und einer Referenzdauer festgelegt werden. Es hat sich dabei als besonders vorteilhaft erwiesen, zunächst diese Referenzdauer aus einem Kennfeld mit den Eingangsgrößen Fahrerwunsch, Fahrertyp, Differenz der Übersetzungen, Fahrsituation und Sollarbeitsleistung auszulesen.

Weiterhin hat es sich als vorteilhaft erwiesen, das Kupplungsmoment zum Zeitpunkt  $t$  aus einem Regelungsanteil und einem Steuerungsanteil zusammenzusetzen. Der Regelungsanteil wiederum läßt sich aus einer Abweichung der Momenttrajektorie von einem geschätzten Kupplungsausgangsmoment im Zeitpunkt  $t$  ermitteln, während der Steuerungsanteil in Abhängigkeit von der Momenttrajektorie festgelegt wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die Momenttrajektorie derart vorgegeben, daß am Ende des Wechsels der Getriebeübersetzung die gewünschte Antriebsleistung erreicht wird. Die Festlegung der Momenttrajektorie erfolgt vorteilhafterweise unter Berücksichtigung eines Fahrwiderstandes, der sich nach dem Entkuppeln auf das Antriebsmoment einstellt.

Ferner hat es sich als vorteilhaft erwiesen, zur prädiktiven Motorsteuerung eine Referenzgetriebedrehzahl sowie ein Totzeitverhalten bei einer Momentenanforderung zu berücksichtigen. Auf diese Weise kann die Prädiktion der Motordrehzahl besonders exakt durchgeführt werden.

Darüber hinaus ist es vorteilhaft, zur prädiktiven Motorsteuerung die Momenttrajektorie in einen zukünftigen Zeitintervall (Prädiktionshorizont) zu berücksichtigen, wobei ein Kupplungsausgangsmoment zum Zeitpunkt  $t$  näherungsweise der Momenttrajektorie folgt. Mit Hilfe des Totzeitverhaltens und der Momenttrajektorie im Prädiktionshorizont läßt sich ein Verhalten des Fahrzeugmotors in Abhängigkeit von einem Massenträgheitsmoment und einer Winkelgeschwindigkeit des Fahrzeugmotors voraussagen.

Insgesamt kann mittels der geschilderten Maßnahmen während der prädiktiven Motorsteuerung eine prädiizierte Motordrehzahl am Ende des Prädiktionshorizontes berechnet werden. Mit Hilfe der prädiizierten Motordrehzahl wird dann ein korrigierter Verlauf der Drehzahltrajektorie berechnet. Letztendlich können aus diesem korrigierten Verlauf Stellgrößen für das Drehmoment des Fahrzeugmotors bestimmt werden. Durch die aufgezeigte Vorgehensweise kann das Schließen der Kupplung und die Fahrzeugbeschleunigung besonders komfortabel und schnell vollzogen werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

Die Erfindung wird nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung der Sollgrößen für ein Motormoment und ein Kupplungsmoment und

Fig. 2 einen Verlauf einer Drehzahl eines Fahrzeugmotors beziehungsweise einer Getriebeeingangswelle während eines Wechsels einer Getriebeübersetzung.

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In einem Antriebsstrang mit automatisierten Aggregaten, wie einem Fahrzeugmotor und einer Kupplung oder aber auch einem automatischen Getriebe, ist es notwendig, bei einem Wechsel einer Getriebeübersetzung die Aggregate koordiniert zu steuern. Dazu ist üblicherweise vorgesehen, den Aggregaten eine Antriebsstrangsteuerung zuzuordnen, die Betriebsparameter und Betriebszustände der einzelnen Aggregate erfaßt, bewertet und entsprechende Stellgrößen für die den Aggregaten zugeordnete Stellmittel bereitstellt. Gegenstand des vorliegenden Verfahrens ist es, eine Einstellung eines Sollwertes für ein Motormoment  $md_{m,soll}$  beziehungsweise ein Kupplungsmoment  $md_{k,soll}$  koordiniert zu steuern (Momentenaufbau).

Die Fig. 1 zeigt in schematischer Weise ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung der Sollwerte  $md_{m,soll}$  für einen Fahrzeugmotor 10 beziehungsweise  $md_{k,soll}$  für eine Kupplung 12. Die jeweiligen Sollwerte werden dann in einem Zeitpunkt  $t$  über geeignete Stellmittel dem Motor 10 beziehungsweise der Kupplung 12 vorgegeben.

Das Kupplungsmoment  $md_{k,soll}$  wird in Abhängigkeit von einem Referenzkupplungsausgangsmoment  $md_{ka,ref}$  (Momenttrajektorie) festgelegt. Gemäß dem Ausführungsbeispiel setzt sich das Kupplungsmoment  $md_{k,soll}$  aus einem Regelungsanteil  $md_{k,r}$  und einem Steuerungsanteil  $md_{k,s}$  zusammen. Der Regelungsanteil  $md_{k,r}$  ist eine Ausgangsgröße eines Reglers 16, dessen Eingangsgröße eine Reglerabweichung von der Momenttrajektorie  $md_{ka,ref}$  und einem über einen Beobachter 18 geschätzten Kupplungsausgangsmoment  $md_{ka,est}$  ist. Der Steuerungsanteil  $md_{k,s}$  wird über einen Rechenblock (Kupplungssteuerung 20) ermittelt.

Die durch den Beobachter 18 geschätzte Ausgabe des Momentes  $md_{ka,est}$  kann wie folgt durchgeführt werden:

Während eines Wechsels der Getriebeübersetzung ist eine Zugkraft unterbrochen, so daß an einer Getriebeausgangswelle kein Moment anliegt. Wird dabei nicht gebremst, so stellt sich eine nahezu konstante Fahrzeuglängsbeschleunigung  $a_{l,zu}$  ein. Mit Hilfe der Längsbeschleunigung  $a_{l,zu}$  läßt sich ein Fahrwiderstand bestimmen.

Zunächst wird die Größe  $a_{l,zu}$  durch Mittlung der Werte für die Fahrzeuglängsbeschleunigung während der Zugkraftunterbrechung (Momentenübertragung auf die Getriebeausgangswelle  $\mu_g = 0$ ) bestimmt. Dabei kann die Fahrzeuglängsbeschleunigung aus einem Meßsignal eines Beschleunigungssensors oder aber auch aus einer zeitlichen Ableitung einer Getriebeausgangsdrehzahl  $n_{ga}$  ermittelt werden. Der geschätzte Fahrwiderstand  $f_{fw,est}$  ist gegeben durch

$$f_{fw,est} = -a_{l,zu} \cdot (m_{fzg} + c \cdot \Theta),$$

wobei  $m_{fzg}$  eine Fahrzeugmasse und  $\Theta$  ein Wert für ein rotorisches Trägheitsmoment der Räder und Wellen bis zum Getriebeausgang sowie der rotierenden Massen des Getriebes am Getriebeausgang ist.

Die während der Zugkraftunterbrechung ermittelte Größe  $f_{fw,est}$  wird während des Einkuppelns festgehalten und dient zur Schätzung des Moments  $md_{ka,est}$ . Zunächst wird während der Phase des Momentenaufbaus eine geschätzte Zugkraft  $f_{zug,est}$  nach der Rechenvorschrift

$$f_{zug,est} = f_{fw,est} + a_l \cdot (m_{fzg} + c \cdot \Theta)$$

bestimmt. Danach erfolgt eine Bestimmung des geschätzten Kupplungs-Ausgangsmoments  $md_{k,est}$  über die Rechenvorschrift

$$md_{k,est} = f_{zug,est} \cdot \frac{r_{dyn}}{\mu_{diff} \cdot \mu_g}.$$

Dabei ist  $r_{dyn}$  ein dynamischer Radhalbmesser und  $\mu_{diff}$  die Momentenverstärkung des Differentialgetriebes und  $\mu_g$  die Momentenverstärkung des Schaltgetriebes.

Die Momenttrajektorie  $md_{ka,ref}$  wird derart vorgegeben, daß am Ende des Getriebewechsels zu einem Zeitpunkt  $t_{arg}$  eine Antriebsleistung  $pw_{an,soll}$  erreicht wird.

Im oberen Teil der Fig. 1 ist schematisch ein Ablauf zur Ermittlung des Sollwertes  $md_{m,soll}$  für den Motor 10 dargestellt. Wiederum setzt sich der Sollwert aus einem Regelungsanteil  $md_{m,r}$  und einem Steuerungsanteil  $md_{m,s}$  zusammen. Der Regelungsanteil  $md_{m,r}$  wird aus einer Regelabweichung einer Drehzahl  $n_{m,ref}$  (Drehzahltrajektorie) von einer Motordrehzahl  $n_m$  in einem Regler 24 bestimmt. Mittels einer prädiktiven Motorsteuerung 26 läßt sich der Steuerungsanteil  $md_{m,s}$  in noch näher zu erläuternder Weise bestimmen.

Die Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$  kann in Abhängigkeit von einem Fahrerwunsch, einem Fahrertyp, einer Differenz  $s_{id}$  der Übersetzung vor und nach dem Wechsel, einer Fahrsituation, der Sollantriebsleistung  $pw_{an,soll}$  nach Ende des Wechsels und einer Differenz  $n_{g,ini}$  einer Motordrehzahl  $n_{m,ini}$  und einer Getriebeeingangsdrehzahl  $n_{ge,ini}$  zu Beginn des Wechsels festgelegt werden. Zunächst kann dazu eine Referenzdauer  $t_{ek,ref}$  aus einem Kennfeld mit den Eingangsgrößen Fahrerwunsch, Fahrertyp, Differenz  $s_{id}$ , Fahrsituation und Sollantriebsleistung  $pw_{an,soll}$  ausgelesen werden.

In die prädiktive Motorsteuerung 26 fließen als Eingangsgrößen die Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$ , ein zukünftiger Verlauf der Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$  und der Momenttrajektorie  $md_{ka,ref}$  sowie eine Stellgrößenvergangenheit des Fahrzeugmotors 10 ein. Darüber hinaus kann weiterhin eine Referenzgetriebeeingangsdrehzahl  $n_{ge,ref}$  berücksichtigt werden. Diese

ergibt sich durch Multiplikation der aktuellen Getriebeausgangsdrehzahl  $n_{ga}$  mit einer Drehzahlübersetzung  $u_{tar}$  einer gewünschten Getriebeübersetzung:

$$n_{ge,ref} = n_{ga} \cdot u_{tar}.$$

Zur Verdeutlichung der nachfolgenden Vorgehensweise bei der Ermittlung der prädiktiven Motorsteuerung 26 sind in der Fig. 2 ein Verlauf der Drehzahl der Getriebeeingangswelle, des Fahrzeugmotors 10 und der Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$  dargestellt. Zu Beginn des Wechsels in einem Zeitpunkt  $t_0$  weisen die Getriebeeingangswelle und der Fahrzeugmotor 10 stark unterschiedliche Drehzahlen (Punkte 1 und 5) auf, die sich im Zeitpunkt  $t_{tar}$  (Punkt 6) aneinander angeglichen haben sollen. Ausgehend von dem Punkt 1 wird wie in bereits erläuterter Weise die Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$  ermittelt und vorgegeben, während die tatsächliche Drehzahl  $n_m$  beispielsweise über einen Drehzahlsensor gemessen werden kann. Zu einem Zeitpunkt  $t$  besteht demnach eine Differenz zwischen dem Sollwert der Drehzahl und dem Istwert derselben (Punkte 2 und 3). Die Angleichung des Istwertes der Drehzahl  $n_m$  an die Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$  erfolgt unter anderem derart, daß eine zukünftige Lage der Drehzahl  $n_m$  nach einem Zeitintervall  $T_{pred}$  bestimmt werden muß. Dies ist ein wesentlicher Bestandteil der prädiktiven Motorsteuerung 26.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, zur prädiktiven Motorsteuerung 26 auch ein Totzeitverhalten zwischen Momentenanforderung und Momentenrealisierung mit einfließen zu lassen. Dabei gilt:

$$md_m(t) = md_{m,soll}(t - T_t),$$

wobei  $T_t$  die wirksame Totzeit des Motors 10 bei der Momentenerzeugung ist. Weiterhin fließt ein zukünftiger Verlauf der Momententrajektorie  $md_{ka,ref}$  in dem Zeitintervall  $T_{pred}$  ein. Näherungsweise kann dabei davon ausgegangen werden, daß ein Kupplungsausgangsmoment  $md_{ka}(t)$  im Zeitpunkt  $t$  der Momenttrajektorie  $md_{ka,ref}$  folgt.

Mittels der obengenannten Größen läßt sich ein Verhalten des Fahrzeugmotors 10 im Zeitintervall  $T_{pred}$  gemäß der Rechenvorschrift

$$\Theta_m \cdot \omega_{dot,m}(t) = md_{m,soll}(t - T_t) - md_{ka}(t)$$

bestimmen, wobei  $\Theta_m$  ein Massenträgheitsmoment und  $\omega_{dot,m}(t)$  eine Winkelgeschwindigkeit des Fahrzeugmotors 10 im Zeitpunkt  $t$  ist. Hierüber läßt sich anschließend eine Prädiktion der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  des Motors 10 zum Zeitpunkt  $t + T_{pred}$  über den Zusammenhang

$$\omega_m(t + T_{pred}) = \frac{1}{\Theta_m} \int_t^{t+T_{pred}} [md_{m,soll}(\tau - T_t) - md_{ka,ref}(\tau)] d\tau$$

mittels diskreter Integration bestimmen. Das Ergebnis letzteren Prädiktionsschrittes ist eine prädiizierte Motordrehzahl  $n_{m,p}$  zum Zeitpunkt  $t + T_{pred}$ . Ausgehend von der prädiizierten Motordrehzahl  $n_{m,p}$  wird ein korrigierter Verlauf der Drehzahltrajektorie  $n_{m,ref}$  vom Zeitpunkt  $t + T_{pred}$  bis zum Zeitpunkt  $t_{tar}$  ermittelt. Dazu lassen sich die gleichen Rechenvorschriften wie für die Bestimmung der bis dahin gültigen Trajektorie  $n_{m,ref}$  heranziehen. Die so ermittelte neue Trajektorie  $n_{m,ref}$  weist an ihrem Beginn zum Zeitpunkt  $t + T_{pred}$  einen Gradienten  $\omega_{dot,m,ps}$  für die Winkelgeschwindigkeit auf, mit dessen Hilfe anschließend über eine Rechenvorschrift

$$md_{m,s} = \Theta_m \cdot \omega_{dot,m,ps} + md_{ka,ref}(t + T_{pred})$$

eine Stellgröße  $md_{m,s}$  für die Stellmittel des Fahrzeugmotors 10 ermittelt wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur koordinierten Steuerung eines Fahrzeugmotors und einer Kupplung mittels einer Antriebsstrangsteuerung während eines Wechsels einer Getriebeübersetzung, wobei dem Fahrzeugmotor und der Kupplung jeweils zumindest ein Stellmittel zugeordnet ist, mit dem über die Antriebsstrangsteuerung eine Einstellung eines Sollwertes für ein Motormoment beziehungsweise ein Kupplungsmoment erfolgt (Momentenaufbau), **dadurch gekennzeichnet**, daß

(a) der Sollwert für das Kupplungsmoment ( $md_{k,soll}$ ) zu einem Zeitpunkt ( $t$ ) in Abhängigkeit von einem Referenzkupplungsausgangsmoment ( $md_{ka,ref}$ ) (Momenttrajektorie) festgelegt wird und

(b) der Sollwert für das Motormoment ( $md_{m,soll}$ ) zum Zeitpunkt ( $t$ ) aus einem Regelungsanteil ( $md_{m,r}$ ) und einem Steuerungsanteil ( $md_{m,s}$ ) besteht, wobei sich der Regelungsanteil ( $md_{m,r}$ ) aus einer Abweichung einer Motordrehzahl ( $n_m$ ) von einer Referenzmotordrehzahl ( $n_{m,ref}$ ) (Drehzahltrajektorie) im Zeitpunkt ( $t$ ) ergibt und der Steuerungsanteil ( $md_{m,s}$ ) in Abhängigkeit von der Drehzahltrajektorie ( $n_{m,ref}$ ) im Zeitpunkt ( $t$ ), einem zukünftigen Verlauf der Drehzahltrajektorie ( $n_{m,ref}$ ) und der Momenttrajektorie ( $md_{ka,ref}$ ) sowie einem vorhergehenden Verlauf der Stellgrößen des Fahrzeugmotors festgelegt wird (prädiktive Motorsteuerung).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahltrajektorie ( $n_{m,ref}$ ) in Abhängigkeit von einem Fahrerwunsch, einem Fahrertyp, einer Differenz ( $s_d$ ) der Übersetzungen vor und nach dem Wechsel, einer Fahrsituation, einer Soll-Antriebsleistung ( $pw_{an,soll}$ ) nach Ende des Wechsels und einer Differenz ( $n_{d,ini}$ ) einer Motordrehzahl ( $n_{m,ini}$ ) und einer Getriebeeingangsdrehzahl ( $n_{ge,ini}$ ) zu Beginn des Wechsels festgelegt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Kupplungsmoment ( $md_{k,soll}$ ) zum Zeitpunkt ( $t$ ) aus einem Regelungsanteil ( $md_{k,r}$ ) und einem Steuerungsanteil ( $md_{k,s}$ ) besteht, wobei

sich der Regelungsanteil ( $md_{k,r}$ ) aus einer Abweichung der Momenttrajektorie ( $md_{ka,ref}$ ) von einem geschätzten Kupplungsausgangsmoment ( $md_{ka,est}$ ) im Zeitpunkt ( $t$ ) ergibt und der Steuerungsanteil ( $md_{k,s}$ ) in Abhängigkeit von der Momenttrajektorie ( $md_{ka,ref}$ ) festgelegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das geschätzte Kupplungsausgangsmoment ( $md_{ka,est}$ ) in Abhängigkeit von einem Fahrwiderstand bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung des geschätzten Kupplungsausgangsmomentes ( $md_{ka,est}$ ) während der Phase der Zugkraftunterbrechung

– zunächst ein geschätzter Fahrwiderstand ( $f_{w,est}$ ) nach der Rechenvorschrift

$$f_{w,est} = a_{l,zu} \cdot (m_{fzg} + c \cdot \Theta),$$

bestimmt wird, wobei ( $m_{fzg}$ ) eine Fahrzeugmasse, ( $a_{l,zu}$ ) eine Fahrzeuglängsbeschleunigung, gemittelt während der Phase der Zugkraftunterbrechung, und ( $\Theta$ ) ein Wert für ein rotorisches Trägheitsmoment der Räder und Wellen bis zum Getriebeausgang sowie der rotierenden Massen des Getriebes am Getriebeausgang ist,

– während der Phase des Momentenaufbaus eine geschätzte Zugkraft ( $f_{zug,est}$ ) gemäß der Rechenvorschrift

$$f_{zug,est} = f_{w,est} + a_l \cdot (m_{fzg} + c \cdot \Theta)$$

ermittelt wird und

– anschließend sich das geschätzte Kupplungs-Ausgangsmoment ( $md_{k,est}$ ) aus dem Zusammenhang

$$md_{k,est} = f_{zug,est} \cdot \frac{r_{dyn}}{\mu_g \cdot \mu_{diff}}$$

berechnen läßt, wobei ( $r_{dyn}$ ) ein dynamischer Radhalbmesser und ( $\mu_{diff}$ ) die Momentenverstärkung des Differentialgetriebes und ( $\mu_g$ ) die Momentenverstärkung des Schaltgetriebes ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Momenttrajektorie ( $md_{ka,ref}$ ) derart vorgegeben wird, daß am Ende des Wechsels in einem Zeitpunkt ( $t_{aig}$ ) die Antriebsleistung ( $pw_{an,soll}$ ) erreicht wird.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur prädiktiven Motorsteuerung eine Referenz-Getriebeeingangsdrehzahl ( $n_{ge,ref}$ ) gemäß der Rechenvorschrift

$$n_{ge,ref} = n_{ga} \cdot u_{aig}$$

bestimmt wird, wobei ( $n_{ga}$ ) eine aktuelle Getriebeausgangsdrehzahl und ( $u_{aig}$ ) eine Übersetzung des Getriebes nach dem Wechsel ist.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur prädiktiven Motorsteuerung ein Totzeitverhalten bei einer Momentenanforderung berücksichtigt wird und für das im Zeitpunkt ( $t$ ) übertragene Moment ( $md_m(t)$ ) gilt:

$$md_m(t) = md_{m,soll}(t - T_d),$$

wobei ( $T_d$ ) eine Totzeit des Fahrzeugmotors ist.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur prädiktiven Motorsteuerung die Momenttrajektorie ( $md_{ka,ref}$ ) in einem Zeitintervall ( $T_{pred}$ ) (Prädiktionshorizont) berücksichtigt wird, wobei ein Kupplungsausgangsmoment ( $md_{ka}(t)$ ) im Zeitpunkt ( $t$ ) näherungsweise der Momenttrajektorie ( $md_{ka,ref}$ ) folgt.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur prädiktiven Motorsteuerung ein Verhalten des Fahrzeugmotors im Zeitintervall ( $T_{pred}$ ) gemäß der Rechenvorschrift

$$\Theta_m \cdot \omega_{dot_m}(t) = md_{m,soll}(t - T_d) - md_{ka}(t)$$

bestimmt wird, wobei ( $\Theta_m$ ) ein Massenträgheitsmoment und ( $\omega_{dot_m}(t)$ ) eine zeitliche Ableitung der Winkelgeschwindigkeit des Fahrzeugmotors im Zeitpunkt ( $t$ ) ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_m(t + T_{pred})$ ) im Zeitpunkt ( $t + T_{pred}$ ) gemäß der Rechenvorschrift

$$\omega_m(t + T_{pred}) = \frac{1}{\Theta_m} \int_t^{t+T_{pred}} [md_{m,soll}(\tau - T_d) - md_{ka,ref}(\tau)] d\tau$$

gegeben ist.

12. Verfahren nach einem oder einer Kombination der Ansprüche 5 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die prädiktive Motorsteuerung eine prädizierte Motordrehzahl ( $n_{m,p}$ ) zum Zeitpunkt ( $t + T_{pred}$ ) liefert und mit der Motordrehzahl ( $n_{m,p}$ ) ein korrigierter Verlauf der Drehzahltrajektorie ( $n_{m,ref}$ ) vom Zeitpunkt ( $t + T_{pred}$ ) bis zum Zeitpunkt ( $t_{aig}$ ) ermittelt wird, wobei die so ermittelte Drehzahltrajektorie ( $n_{m,ref}$ ) zum Zeitpunkt ( $t + T_{pred}$ ) einen Gradienten

( $\dot{\omega}_{m,ps}$ ) aufweist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Stellgröße ( $m_{d,s}$ ) für das Drehmoment des Fahrzeugmotors gemäß der Rechenvorschrift

$$m_{d,s} = \Theta_m \cdot \dot{\omega}_{m,ps} + m_{d,ka,ref}(t + T_{pred})$$

bestimmt wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

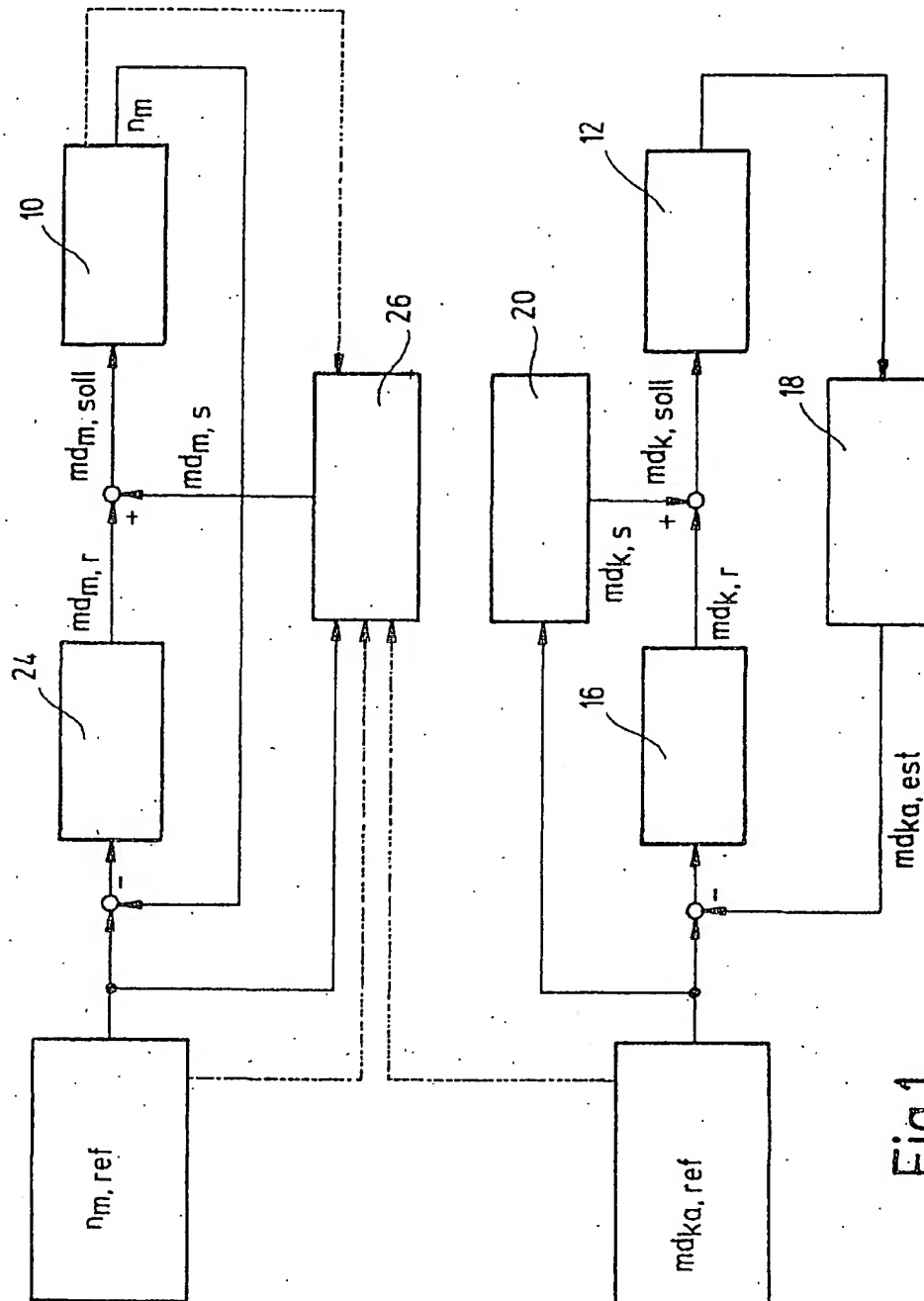


Fig.1

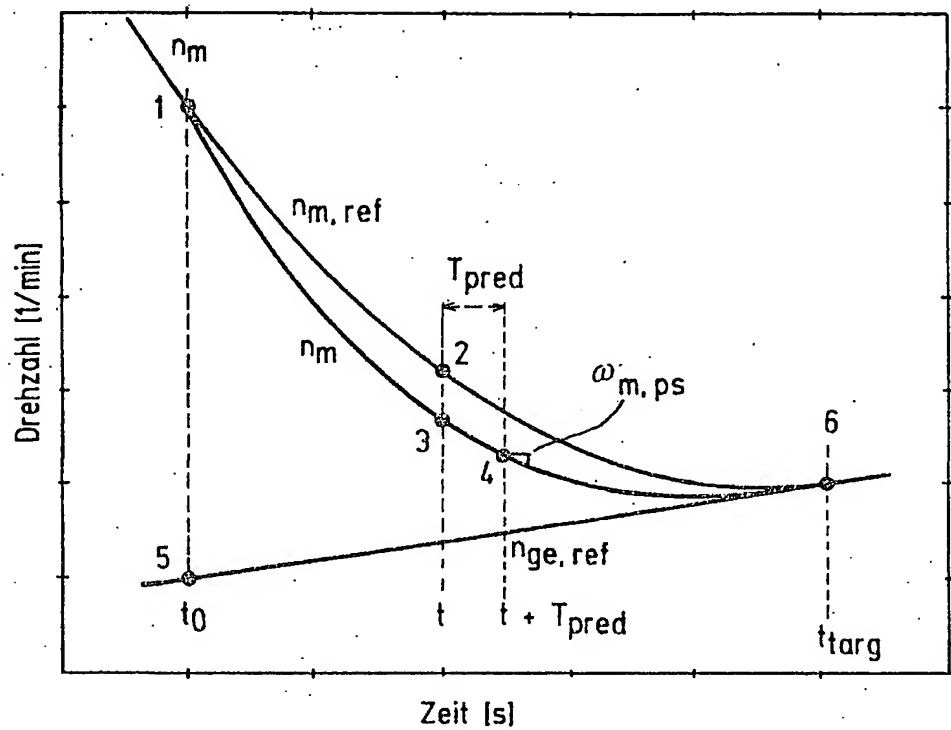


Fig.2